



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A study on Enhancing Efficiency of IPMSM Adopting Concentrated Winding Structure [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	陶, 咸吉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15583号
Issue Date	2023-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90210
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	TA0_Xianji_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 陶 咸吉

審査担当者 主査教授 五十嵐 一

副査教授 北 裕幸

副査准教授 野口 聡

学位論文題名

A study on Enhancing Efficiency of IPMSM Adopting Concentrated Winding Structure

(集中巻を用いた永久磁石同期モータの高効率化に関する研究)

本研究の目的は、製造性やコストを考慮して、集中巻き永久磁石埋め込み型同期機 (IPMSM: Interior Permanent Magnet Synchronous Machine) の効率を向上させることにある。この目的のために、著者は広い速度領域・中トルク領域で動作する集中巻き IPMSM を考え、この効率を高めるためのロータ構造を提案している。また風力発電機用の高トルク IPMSM における渦電流損を削減するための巻線構造の効果について検討している。

本論文 1 章では、IPMSM の基本原理と構造について述べている。

第 2 章では、空調用 IPMSM に着目し、目標とする広速度・中トルク動作領域において、製造コストを追加することなく効率を向上できる回転子構造を提案している。提案する回転子構造は、 q 軸磁束に大きなフラックスバリアと不均衡なエアギャップを採用し、 q 軸磁束と dq 軸磁束の高調波成分を抑制しながら、PM の磁束を d 軸に集中させる。著者はまず、永久磁石端部に設定したフラックスバリアと不均衡なエアギャップによる永久磁石磁束の利用率と、 q 軸磁束経路の寸法、および鉄損高調波成分の割合が銅損と鉄損への影響を検討している。その結果、提案する回転子構造では、磁気トルクを有効活用することで銅損を、 q 軸磁束を抑制することで鉄損を低減できることを示した。すなわち提案する回転子構造では、銅損と鉄損のトレードオフを実現し、目標とする運転点での総損失を最小化することができる。著者は上記の設計指針に基づき試作機を製作し、実測により上記の回転子構造の有効性を実証した。

第 3 章では風力発電のための高トルク IPMSM を提案している。本発電機では渦電流損を低減するために、集中巻の矩形巻線構造を採用した。著者は、渦電流損失と銅損のトレードオフを実現するために、つぎの 3 つの方法を採用した。(a) 巻線の一部を除去する方法と巻線の一部をアルミニウムに置き換える方法。(b) 固定子ティース先端形状を修正することで、ティース先端周辺の磁気飽和を緩和し、巻線を通る磁束を抑制する。(c) コギングトルクを低減するために、3 段スキューの回転子構造を採用する。著者はこれらの特徴を持つ提案モデルの性能を検証するために、丸型巻線を採用した 3 つのモデルとの比較を行った。有限要素法による解析の結果、提案モデルは 3 つの丸型巻線モデルと比較して、より高い効率を発揮できることが明らかになった。さらに著者は上記解析結果を検証するために、提案した巻線構造を持つ試作機を製作して特性を計測した。この結果、提案モデ

ルの効率が 97.5% を超えることを実証した.

これを要するに著者は, 銅損と鉄損をバランスよく低減するために有効な永久磁石埋め込み型同期モータの回転子構造を提案するとともに, 渦電流損を抑制可能な永久磁石埋め込み型同期発電機の巻き線構造を提案した. さらに著者は数値解析および実験により, 提案した回転子および巻き線構造の有効性を示している. これら研究は, 電気工学, 電気機器学に寄与するところ大なるものがある. よって, 著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格ある者と認める.